

CHAOSHEN YU FUZA DIZHI TIAOJIAN
HUNNINGTU FANGSHENQIANG GUANJIAN JISHU

超深与复杂地质条件 混凝土防渗墙关键技术

宗敦峰 刘建发 肖恩尚 王玉杰 等 编著

水利水电工程

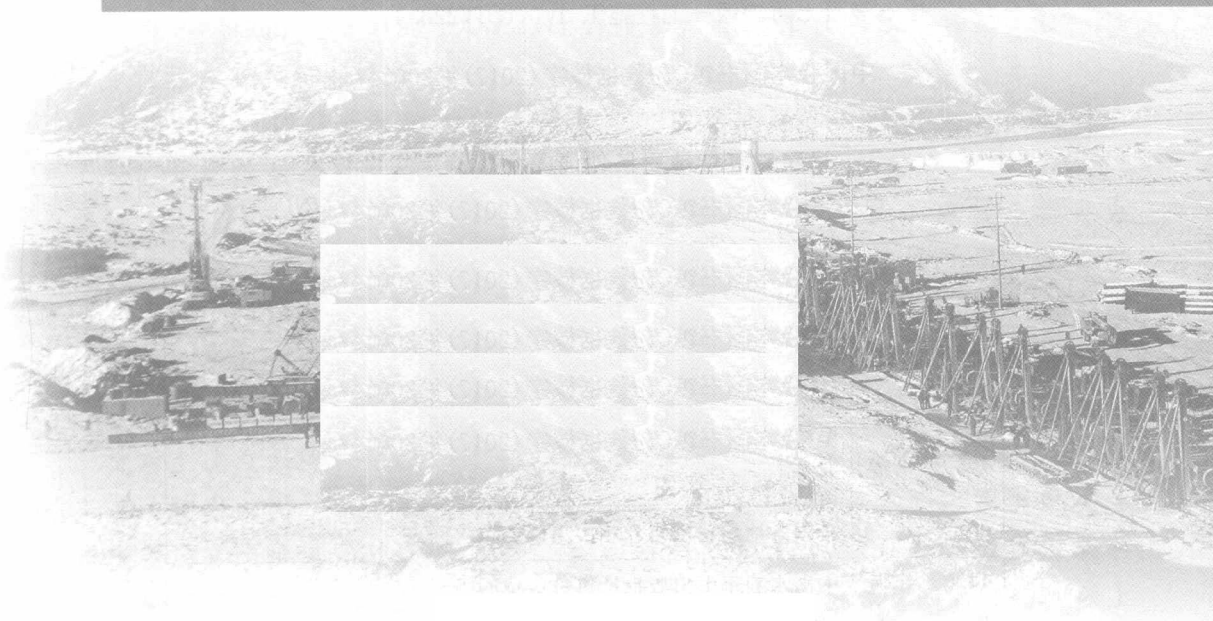


中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

CHAOSHEN YU FUZA DIZHI TIAOJIAN
HUNNINGTU FANGSHENQIANG GUANJIAN JISHU

超深与复杂地质条件 混凝土防渗墙关键技术

宗敦峰 刘建发 肖恩尚 王玉杰 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

全书分为技术篇和应用篇,共22章,主要内容包括:200m级超深防渗墙成套成槽设备与机具、防渗墙成套造孔挖槽工法技术体系、新型固壁泥浆研发与大体积泥浆自动搅拌系统、超深防渗墙接头管接头技术与成墙技术、复杂恶劣地质条件超深防渗墙槽孔施工技术、复杂地质条件与环境病险水库防渗墙施工技术、复杂地质条件大型围堰防渗墙优质高效施工技术、塑性混凝土防渗墙技术和工程实例等。

本书可供从事混凝土防渗墙设计、科研、施工以及运行管理等专业的技术人员参考使用,亦可作为大专院校相关专业的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

超深与复杂地质条件混凝土防渗墙关键技术 / 宗敦峰等著. — 北京:中国水利水电出版社,2017.11
ISBN 978-7-5170-6129-8

I. ①超… II. ①宗… III. ①特殊环境—工程地质条件—混凝土防渗墙—工程施工 IV. ①TV223.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第300317号

书 名	超深与复杂地质条件混凝土防渗墙关键技术 CHAOSHEN YU FUZA DIZHI TIAOJIAN HUNNINGTU FANGSHENQIANG GUANJIAN JISHU
作 者	宗敦峰 刘建发 肖恩尚 王玉杰 等 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	清淤永业(天津)印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 22.25印张 528千字
版 次	2017年11月第1版 2017年11月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	100.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

P R E F A C E

我国混凝土防渗墙的建设开始于20世纪50年代末期，历经密云水库、葛洲坝水利枢纽、水口水电站、铜街子水电站等工程，特别是小浪底水利枢纽和三峡二期围堰防渗墙工程的建设，到20世纪末，防渗墙施工技术取得了长足的进步。适用于各种水工永久建筑物与临时工程（大坝、围堰、堤防等）防渗处理、采用不同墙体材料（常规混凝土、塑性混凝土、黏土混凝土等）、厚度在60~150cm范围内的100m以上深度防渗墙施工技术已经成熟，技术水平跻身世界先进行列。

21世纪初，伴随着我国西部大开发与“西电东送”战略的实施，我国水电工程的开发重点逐步向西部地区转移，向长江、黄河、澜沧江、雅砻江、大渡河等大江大河中上游迈进，西部地区大型水利设施的建设也将大力推进。西部地区水利水电工程大多地处高原、山高谷深、气候恶劣、覆盖层深厚区域，工程建设面临众多技术难题。一大批高坝覆盖层地基100m以上超深与复杂地质条件防渗墙工程需要建设，复杂条件下大型工程围堰和病险水库防渗墙施工技术亟待提升和创新，防渗墙施工技术面临全新的形势和任务。

针对上述发展需求，我国水利水电地基处理专业企业开展了施工装备、施工工法技术、固壁泥浆新材料和槽段连接技术等方面的攻关，系统解决了深厚覆盖层高坝地基防渗处理难题，大幅提升了复杂条件下大型工程围堰和病险水库防渗墙安全、优质与高效施工技术水平，成功建设了一批100m以上超深防渗墙工程，创造了201m深防渗墙施工的世界纪录。

本书以近20年来超深防渗墙施工技术创新成果为主线，重点围绕超深防渗墙成槽施工装备、成槽施工工法技术、固壁泥浆材料与设备、墙段接头管连接技术与成墙技术以及复杂恶劣地质条件成槽专项技术等方面，结合复杂条件病险水库、大型围堰和塑性混凝土防渗墙等施工技术进行系统总结，并

提供了大量工程实例，代表了目前防渗墙施工技术的最高水平。

本书编写人员均长期从事混凝土防渗墙的施工、科研工作，具有相应的理论研究水平和丰富的工程实践经验。在本书编写过程中，中国水电基础局有限公司、中国水利水电科学研究院岩土工程研究所、水利部水利水电规划设计总院、天津大学等单位的近百名同志给予了大力支持和帮助，陈祖煜院士给予了悉心指导，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，书中难免存在不妥和错误之处，恳请广大工程技术人员和专家提出宝贵意见和建议。

作者

2017年7月

目录

CONTENTS

前言

技术篇

第 1 章 绪论	3
1.1 概况	3
1.2 本书主要内容	17
参考文献	21
第 2 章 200m 级超深防渗墙成套成槽设备与机具	23
2.1 概述	23
2.2 重型 CZF 系列冲击反循环钻机	23
2.3 重型冲击钻机	30
2.4 重型钢丝绳抓斗及配套机具	33
2.5 液压抓斗	41
2.6 液压铣槽机	43
2.7 JHB-200 型泥浆净化机及其使用说明	48
参考文献	55
第 3 章 防渗墙成套造孔挖槽工法技术体系	57
3.1 概述	57
3.2 成槽施工方案优化组合综合比选方法	57
3.3 防渗墙成套造孔挖槽工法技术体系	61
参考文献	88
第 4 章 新型固壁泥浆研发与大体积泥浆自动搅拌系统	91
4.1 新型防渗墙正电胶固壁泥浆	91
4.2 大体积泥浆自动搅拌系统	104

参考文献	108
第 5 章 超深防渗墙接头管接头技术与成墙技术	110
5.1 YBJ 系列卡键直顶式大口径液压拔管机	110
5.2 超深防渗墙接头管施工工法技术	124
5.3 超深防渗墙槽孔清孔换浆技术	127
5.4 超深防渗墙泥浆下混凝土浇筑技术	130
5.5 超深防渗墙墙内预埋墙下帷幕灌浆管工法技术	135
参考文献	137
第 6 章 复杂恶劣地质条件超深防渗墙槽孔施工技术	139
6.1 概述	139
6.2 预灌浓浆与槽内灌浆处理技术	140
6.3 槽孔施工堵漏技术	142
6.4 孤、漂(块)石地层与硬岩地层槽孔爆破辅助成槽工法技术	142
6.5 陡坡基岩嵌岩技术	145
6.6 密封耐压性柱状定向聚能弹技术	146
6.7 槽内钻孔爆破定位技术	147
参考文献	148
第 7 章 复杂地质条件与环境病险水库防渗墙施工技术	150
7.1 概述	150
7.2 CZF-1500、CZF-2000 系列冲击反循环钻机的应用	153
7.3 特殊地质条件高效施工技术	153
7.4 恶劣地质条件强漏失塌孔地层施工技术	154
7.5 防渗墙接头管接头技术	155
7.6 病险水库除险加固防渗墙环保施工技术	155
7.7 坝体塌陷区防渗墙施工抢险技术	156
参考文献	158
第 8 章 复杂地质条件大型围堰防渗墙优质高效施工技术	159
8.1 概述	159
8.2 大型围堰防渗墙造孔挖槽快速施工技术	160
8.3 严重漏浆塌孔地层处理技术	161
8.4 防渗墙接头管接头技术	161
参考文献	161
第 9 章 塑性混凝土防渗墙技术	163
9.1 概述	163
9.2 塑性混凝土防渗墙的试验研究和基本物理力学性能	165
9.3 塑性混凝土施工技术	166

9.4 塑性混凝土工程案例	169
参考文献	174

应 用 篇

第 10 章 旁多水利枢纽超深与复杂地质条件防渗墙工程	179
10.1 概述	179
10.2 工程概况与技术难点	179
10.3 造孔成槽	180
10.4 施工设备与机具	183
10.5 新型防渗墙正电胶固壁泥浆研究与应用	184
10.6 接头管技术	188
10.7 清孔换浆	189
10.8 混凝土浇筑	190
10.9 防渗墙墙内预埋墙下帷幕灌浆管	192
10.10 复杂地层处理	193
10.11 工程实施效果	197
参考文献	199
第 11 章 黄金坪水电站超深与复杂地质条件防渗墙工程	201
11.1 概述	201
11.2 工程概况与技术难点	201
11.3 造孔成槽施工	202
11.4 重型冲击钻机与钻具	203
11.5 固壁泥浆与循环利用	204
11.6 清孔换浆	207
11.7 接头管槽段连接技术	208
11.8 混凝土浇筑	209
11.9 防渗墙墙内预埋墙下帷幕灌浆管	211
11.10 孤、漂石地层槽孔施工	212
11.11 工程实施效果	212
参考文献	219
第 12 章 冶勒水电站超深与复杂地质条件防渗墙工程	221
12.1 概述	221
12.2 工程概况	221
12.3 100m 深度防渗墙生产试验研究	222
12.4 造孔成槽施工	222
12.5 施工设备与机具研制、改进与应用	223

12.6	槽段划分与布置	225
12.7	防渗墙槽段连接	227
12.8	混凝土浇筑	230
12.9	工程实施效果	231
	参考文献	233
第 13 章	下坂地水库超深与复杂地质条件防渗墙工程	235
13.1	概述	235
13.2	工程概况	235
13.3	施工技术难点	236
13.4	造孔成槽施工	236
13.5	固壁泥浆	237
13.6	清孔换浆	238
13.7	接头管槽段连接	238
13.8	混凝土浇筑	239
13.9	预埋灌浆管制作与下设	240
13.10	复杂地层施工	241
13.11	工程实施效果	242
	参考文献	242
第 14 章	狮子坪水电站超深与复杂地质条件防渗墙工程	244
14.1	概述	244
14.2	工程概况与技术难点	244
14.3	造孔成槽施工	245
14.4	重型冲击反循环钻机研究应用	246
14.5	固壁泥浆与循环利用	246
14.6	清孔换浆	247
14.7	接头管槽段连接	248
14.8	混凝土浇筑	249
14.9	防渗墙墙内预埋墙下帷幕灌浆管埋设	249
14.10	恶劣地质条件施工	250
14.11	工程实施效果	253
	参考文献	257
第 15 章	泸定水电站超深与复杂地质条件防渗墙工程	258
15.1	概述	258
15.2	工程概况与技术难点	258
15.3	造孔成槽施工	259
15.4	施工设备与机具	260
15.5	固壁泥浆	261

15.6	清孔换浆技术研究与实践	264
15.7	接头管槽段连接	265
15.8	混凝土浇筑	265
15.9	防渗墙墙内预埋墙下帷幕灌浆管理设	266
15.10	恶劣地质条件施工技术	268
15.11	工程实施效果	269
	参考文献	281
第 16 章	新疆小石门水库超深与复杂地质条件防渗墙工程	282
16.1	概述	282
16.2	工程概况	282
16.3	造孔成槽施工	283
16.4	施工设备与机具	284
16.5	固壁泥浆	284
16.6	混凝土浇筑	285
16.7	预埋灌浆管下设	286
16.8	恶劣地质条件施工措施	287
16.9	工程实施效果	288
	参考文献	290
第 17 章	西藏甲玛沟尾矿库塑性混凝土防渗墙工程	291
17.1	概述	291
17.2	工程概况	291
17.3	防渗墙成槽方法	292
17.4	防渗墙施工工艺	292
17.5	槽段划分	293
17.6	墙段连接	294
17.7	混凝土配合比和浇筑	294
17.8	地下高压气体对墙体破坏的预防	294
17.9	减压井施工	295
17.10	工程实施效果	296
	参考文献	296
第 18 章	西藏雅砻水库防渗墙工程	297
18.1	概述	297
18.2	工程概况	297
18.3	造孔成槽施工方案	298
18.4	施工设备与机具	299
18.5	固壁泥浆	299
18.6	清孔换浆	301

18.7	混凝土浇筑	301
18.8	墙段连接	302
18.9	墙内预埋灌浆管的制作和下设	303
18.10	工程实施效果	306
	参考文献	308
第 19 章	红石岩堰塞湖整治枢纽超深防渗墙工程	309
19.1	概述	309
19.2	工程概况	309
19.3	关键技术问题与技术方案	310
19.4	造孔成槽施工方案	312
19.5	施工设备与机具	312
19.6	固壁泥浆	313
19.7	墙段连接	314
19.8	清孔换浆	315
19.9	混凝土浇筑	315
19.10	墙内预埋灌浆管的制作和下设	316
	参考文献	317
第 20 章	新疆大河沿水库超深防渗墙工程	318
20.1	概述	318
20.2	工程概况	318
20.3	关键技术问题与技术方案	319
20.4	造孔成槽施工	321
20.5	施工设备与机具	322
20.6	固壁泥浆	322
20.7	墙段连接	324
20.8	清孔换浆	325
20.9	混凝土浇筑	326
20.10	预埋灌浆管的制作和下设	327
第 21 章	向家坝水电站一期围堰防渗墙工程	329
21.1	概述	329
21.2	工程概况	329
21.3	工程地质条件	329
21.4	关键技术问题研究与技术措施	330
21.5	造孔成槽施工工艺	332
21.6	施工设备与机具	332
21.7	固壁泥浆	333
21.8	清孔换浆	333

21.9 墙段连接	333
21.10 混凝土浇筑	334
21.11 工程实施效果	335
参考文献	335
第 22 章 溪洛渡水电站围堰防渗墙工程	336
22.1 概述	336
22.2 工程概况	336
22.3 工程地质条件	336
22.4 关键施工问题与技术措施	337
22.5 造孔成槽施工工艺	339
22.6 施工设备与机具	341
22.7 固壁泥浆	341
22.8 清孔换浆	342
22.9 墙段连接	342
22.10 混凝土浇筑	343
22.11 工程实施效果	344
参考文献	344



技术篇

1.1 概况

1.1.1 混凝土防渗墙基本特性

混凝土防渗墙（以下简称“防渗墙”）是在水工建筑物地基或土石坝（围堰、堤）体中，利用钻孔、挖槽机械，以泥浆固壁造孔挖槽，在泥浆下浇筑混凝土筑成的地下连续构筑物，主要起防渗作用和提高土基或土石坝（围堰、堤）体的渗透稳定性，在水利水电工程之外的其他基础设施行业，统称为地下连续墙，如图 1.1 所示^[1]。



图 1.1 土石坝防渗墙防渗示意图

在水利水电工程中，防渗墙主要有连锁桩柱式和槽孔型。连锁桩柱式防渗墙是在土体中，采用钻机钻孔形成独立桩体，并通过套接、平接等方式形成连续体，如图 1.2 所示。槽孔型防渗墙是利用钻孔、挖槽机械分独立单元挖掘槽形孔，浇筑混凝土或回填其他防渗材料后，通过接头技术形成连续体，如图 1.3 所示^[1]。

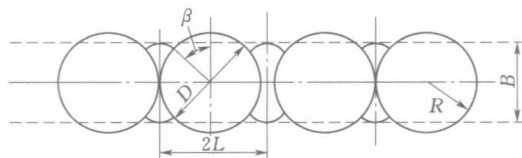


图 1.2 连锁桩柱式防渗墙示意图



图 1.3 槽孔型防渗墙示意图

防渗墙工程是隐蔽工程,如何通过周密的设计、严谨的施工和有效的检测,达到设计要求和质量标准,有它独特的规律和要求,防渗墙的质量与效率直接关系到工程安全与成败。防渗墙施工技术与装备发展很快,施工机械、工艺、材料等不断有新的成果涌现出来,防渗墙的施工能力常常关系到工程建设的方案、技术经济水平。防渗墙与其他行业地下连续墙施工技术相辅相成,已被其他建筑领域广泛推广应用,其他行业的先进技术也不断地移植到防渗墙工程上^[1]。

1.1.2 国内外防渗墙技术发展历程

1.1.2.1 20世纪我国防渗墙技术发展历程

防渗墙作为地下连续墙在水利水电工程中的专有形式,起源于欧洲,它是综合了钻井技术和水下浇筑混凝土技术而发展起来的。1950年前后开始在意大利和法国等国家应用。

我国防渗墙的建设开始于20世纪50年代末期。1958年湖北省明山水库创造了预制连锁管柱桩防渗墙^[2]。同年在山东省青岛月子口水库用这种办法在砂砾石地基中首次建成了深20m、有效厚度43cm的桩柱式防渗墙。

1959年,中国水电基础局有限公司(以下简称“基础局”)在北京市密云水库砂砾石地基中创造了“钻劈法”造孔工法,建成了最大深度44m、厚0.8m的槽孔型防渗墙,成墙面积1.9万m²,形成了规模施工和最初的成套技术^[3]。

1967年,在四川省大渡河上的龚嘴水电站中,首次将防渗墙用作大型土石围堰的防渗设施,最大深度52m,墙厚0.8m,成墙面积12382m²。这一工程的顺利建成,为我国水利水电工程找到了一种“多快好省”的围堰防渗结构^[1]。

20世纪60年代后期,许多地质条件很差的坝(闸)基都纷纷采用了防渗墙方案。如四川省映秀湾水电站闸基防渗墙和渔子溪一级水电站闸基防渗墙。

20世纪70年代,防渗墙作为病险土石坝处理的最佳手段被广泛应用。主要工程有1974年建成的广西壮族自治区百色澄碧河水库大坝防渗墙^[4]、甘肃省武威黄羊河水库坝体防渗墙^[5]和1978年建成的江西省永修柘林水库坝体防渗墙等^[6]。

20世纪80年代初,在葛洲坝水利枢纽大江围堰防渗墙施工中,首次引进了日本液压导板抓斗挖槽机,进行了施工试验,并首次进行了防渗墙“拔管法”接头技术的试验^[7]。

1986年,四川省铜街子水电站左深槽承重防渗墙工程建成,最大深度74.4m,墙厚1.0m,成墙面积6896.2m²,大型防渗墙兼作承重结构,创造了防渗墙深度的新纪录^[8]。

1989年,河北省岳城水库溢洪道出口防冲墙建成,该防渗墙由44个工字形断面单元墙段组成,工字形断面12.6m、宽7.3m,墙厚1.3m,成功实施了异型布置的防渗墙施工,其施工难度前所未有^[9]。

1990年,福建省水口水电站主围堰防渗墙首次应用塑性混凝土^[10],取得了良好效果,防渗效率达98%,塑性混凝土材料开始应用推广,如山西省册田水库防渗墙^[11]、北京市十三陵水库防渗墙^[12]、河南省小浪底水利枢纽上游围堰防渗墙^[13]以及长江三峡大江围堰防渗墙^[14]等。

1994年,小浪底主坝混凝土右岸防渗墙工程建成,最大墙深81.9m,墙厚1.2m,成墙面积10541m²,混凝土设计强度35MPa,是迄今为止我国墙体材料强度最高的防渗墙。

施工中右岸部分采用了缓凝型高强混凝土,缓解了墙体混凝土强度过高给钻凿接头带来的困难,并创造了防渗墙深度的新纪录^[15]。

1997年,在冶勒水电站现场,进行了百米深防渗墙首次施工试验,开展了CZF-1500冲击反循环钻机钻孔、传统“钻劈法”防渗墙造孔工艺、传统“套接法”与新型“双反弧法”接头技术以及泥浆下混凝土浇筑技术等试验研究^[16]。

1997年12月,基础局在调研的基础上,开始了CZF-2000型重型冲击反循环钻机的设计和样机生产与现场试验工作,同期开展了JHB型系列泥浆净化机研发。

1999年3月至2002年3月,在黄壁庄水库除险加固工程中,继续开展了CZF-2000型冲击反循环钻机的研究应用工作,系统开展了复杂地层水库除险加固防渗墙施工技术研究^[17]。

1998年,长江三峡工程二期上游围堰防渗墙工程建成,该防渗墙是我国20世纪已建防渗墙工程中规模最大、综合难度最大的防渗墙,地层地质条件复杂,其中二期围堰防渗墙体现了关键技术。为了确保在一个枯水期完成任务,基础局进行了全面攻关,并通过精心组织成功完成了施工^[18]。该工程与小浪底工程一起,标志着我国100m以下深度防渗墙施工技术已经成熟,施工技术水平总体达到国际先进水平。

1998年以前国内部分防渗墙工程情况见表1.1。

1.1.2.2 21世纪我国防渗墙技术发展历程

2001年7月至2005年6月,冶勒水电站防渗墙工程施工。

2002年1—10月,润扬大桥地下连续墙工程开展了大口径液压拔管机系列研发和防渗墙“接头管法”施工技术研究,并成功进行了50m深拔管试验^[19]。

2002年9月至2003年11月,在下坂地水利枢纽现场,再次进行了百米深防渗墙施工试验。

2004年12月至2005年10月和2008年11月至2009年4月,结合向家坝水电站一期、二期围堰防渗墙工程,开展了复杂地质条件围堰防渗墙优质快速施工技术研究^[20]。

2005年10月至2006年9月,狮子坪水电站防渗墙工程施工^[21]。

2006年4月至2009年5月,下坂地水利枢纽防渗墙工程施工^[22]。

2007年12月至2008年3月,结合溪洛渡水电站围堰防渗墙工程,开展了复杂地质条件围堰防渗墙优质快速施工技术研究^[23]。

2008年9月至2009年4月,结合窄口水库除险加固防渗墙工程,开展了复杂地层水库除险加固防渗墙施工技术研究^[24]。

2007年,开展了防渗墙正电胶(MMH)泥浆调研、室内试验和工程应用研究^[25]。

2008年11月至2010年4月,泸定水电站防渗墙工程施工^[26]。

2009年9月至2013年6月,旁多水利枢纽防渗墙工程施工^[27]。

2012年9月至2013年7月,黄金坪水电站防渗墙工程施工^[28]。

2013年10月至2014年10月,新疆小石门水库防渗墙工程施工。

1.1.2.3 国外防渗墙技术发展历程

地下连续墙技术起源于欧洲,它是综合了水井、石油钻井以及水下浇筑混凝土技术而发展起来的。1950年前后开始在意大利和法国等国家应用,这是因为意大利米兰和法国